

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
E AMBIENTAIS

**NÍVEIS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO: EFEITOS SOBRE A NUTRIÇÃO E
CRESCIMENTO INICIAL DE *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken**

NONATO JUNIOR RIBEIRO DOS SANTOS

MANAUS – AM

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS

NONATO JUNIOR RIBEIRO DOS SANTOS

**NÍVEIS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO: EFEITOS SOBRE A NUTRIÇÃO E
CRESCIMENTO INICIAL DE *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais da
Universidade Federal do Amazonas
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Ciências Florestais e Ambientais,
área de concentração Silvicultura
Tropical.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. José Marciel Ferreira

MANAUS – AM

2016

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237n Santos, Nonato Junior Ribeiro dos
Níveis de nitrogênio e potássio: Efeitos sobre a nutrição e crescimento inicial de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken / Nonato Junior Ribeiro dos Santos. 2016
35 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: José Zilton Lopes Santos
Coorientador: Marciel José Ferreira
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Aquisição de nutrientes. 2. Nutrição florestal. 3. Fertilidade do solo. 4. Silvicultura. 5. Produtividade. I. Santos, José Zilton Lopes II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



PARECER

Defesa nº 177

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir do mestrando **NONATO JUNIOR RIBEIRO DOS SANTOS**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada "**NÍVEIS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO: EFEITOS SOBRE NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE *Cordia alliodora* (Rui & Pav.) Oken**" é de parecer favorável à aprovação do mestrando habilitando-o ao título de Mestre "*Magister Scientiae*" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Professor Doutor José Zilton Lopes Santos
Professor da Universidade Federal do Amazonas
Presidente da banca examinadora

Professora Doutora Narrúbia Oliveira de Almeida
Professora da Universidade Federal do Amazonas
Primeira Examinadora

Professora Doutora Sônia Maria Figueiredo Albertino
Professora da Universidade Federal do Amazonas
Segunda Examinadora



Manaus, 07 de março de 2016.

Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

Aos meus sobrinhos, Ângelo Ribeiro e Antônio Bento Ribeiro

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

A UFAM (Universidade Federal do Amazonas) e ao PPG-CIFA (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais) pela oportunidade.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da *bolsa* de estudos.

Aos professores José Zilton Lopes Santos e Marciel José Ferreira pela orientação, apoio e confiança.

A equipe de Nutrição Mineral de Plantas (UFAM): Tainah, Matheus, Diegler e Silvio pelo apoio e em especial ao Ives pela ajuda fundamental em diversas as etapas deste projeto.

A os colegas do Laboratório de Silvicultura (UFAM): João Vitor, Alacimar, Victor, Saine e Zilza pela amizade, companheirismo, apoio nos momentos de dificuldade e momentos de descontração proporcionados.

As queridas e amadas mulheres da minha vida, Peta (mãe), Petty e Lydia (irmãs) pelo amor, carinho, incentivo e total apoio na realização dessa dissertação.

Muito obrigado!

Resumo

Colaborando para o manejo adequado da adubação nitrogenada e potássica em espécies florestais pioneiras nativas da Amazônia, indicamos as doses 179,73 mg de N e 108,70 mg de K dm⁻³ para cultivo inicial de *Cordia alliodora* sob condições ambientais semi-controladas, após o estudo dos efeitos de níveis crescentes de nitrogênio (N) e potássio (K) sobre as características nutricionais, fisiológicas e morfológicas da espécie.

Palavras chave: *aquisição de nutrientes, nutrição florestal, fertilidade do solo, silvicultura, produtividade*

Abstract

Collaborating with proper management of nitrogen and potassium fertilization in pioneer tree species of Amazonian Forest, indicate the levels 179,73 mg N and 108,70 mg K dm⁻³ 179.73 mg N and 108.70 mg K for initial cultivation of *Cordia alliodora* in a greenhouse conditions, studying the effects of increasing levels of nitrogen (N) and potassium (K) on nutritional, physiological and morphological characteristics of the species.

Keywords: *Demand of nutrientes, mineral nutrition, soil fertility, forestry, productivity*

Lista de figuras

- Figura 1** Conteúdo foliar de nitrogênio (CN) (a), potássio (CK) (b), fósforo (CP) (c), cálcio (CCa) (d), magnésio (CMg) (e), ferro (CFe) (f), manganês (CMn) (g) e zinco (CZn) (h) em função de doses de nitrogênio em plantas de *Cordia alliodora* após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. ** $P < 0,01$ 8
- Figura 2** Conteúdo foliar de nitrogênio (CN) (a), potássio (CK) (b), fósforo (CP) (c), cálcio (CCa) (d), magnésio (CMg) (e), ferro (CFe) (f), manganês (CMn) (g) e zinco (CZn) (h) em função de doses de potássio em plantas de *Cordia alliodora* após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. ** $P < 0,01$ 10
- Figura 3** Sintomas visuais da deficiência de nitrogênio em plantas de *Cordia alliodora* aos 120 dias de idade em função da disponibilidade de diferentes níveis de nitrogênio no substrato de cultivo. 11
- Figura 4** Sintomas visuais da deficiência de potássio em plantas de *C. alliodora* aos 120 dias de idade em função da disponibilidade de diferentes níveis de potássio no substrato de cultivo. 12
- Figura 5** Fotossíntese líquida (A) (a) e Índice relativo de clorofila SPAD (IRC SPAD) (b) em plantas de *C. alliodora* em função de diferentes níveis de nitrogênio, após 120 dias de cultivo em condições semi-controladas. ** $P < 0,01$ 13
- Figura 6** Fotossíntese líquida (A) (a) e Índice relativo de clorofila SPAD (IRC SPAD) (b) em plantas de *C. alliodora* em função de diferentes níveis de potássio, após 120 dias de cultivo em condições semi-controladas. ** $P < 0,01$ 13
- Figura 7** Massa seca da parte aérea (MSPA) (a), massa seca da raiz (MSR) (b), altura da parte aérea (ALT) (c) e diâmetro do coleto (DC) (d) de *C. alliodora* em função de diferentes doses de nitrogênio, após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. * $P < 0,01$ 14
- Figura 8** Massa seca da parte aérea (MSPA) (a), massa seca da raiz (MSR) (b), altura da parte aérea (ALT) (c) e diâmetro do coleto (DC) (d) de *C. alliodora* em função de diferentes doses de potássio, após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. * $P < 0,01$ 15

Sumário

INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E METODOS	2
Material planta e condições de crescimento	2
Delineamento experimental	3
Procedimentos específicos	4
Avaliação do experimento	5
Análise dos resultados	6
RESULTADOS	6
Conteúdo de nutrientes	6
Sintomatologia visual	11
Parâmetros fotossintéticos	12
Crescimento inicial	14
DISCUSSÃO	16
Conteúdo de nutrientes	16
Sintomatologia nutricional	16
Parâmetros fotossintéticos	17
Crescimento inicial	18
CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

INTRODUÇÃO

Solos predominantes em área de terra firme na região Amazônica (Argissolos e Latossolos) (Quesada et al., 2011) são caracterizados por apresentarem elevada acidez e limitações quanto a sua fertilidade natural (Moreira & Fageria, 2009), entretanto, espécies florestais, com potencial madeireiro, nativas da região Amazônica requerem abundantes quantidades de nutrientes em sua fase inicial de crescimento, principalmente pioneiras de rápido crescimento (Viégas et al. 2012, Freiburger et al. 2013, Nascimento et al. 2014).

Dentre os nutrientes necessários para o crescimento vegetal, recebem destaque por serem demandados e absorvidos em maiores quantidades o nitrogênio (N) e o potássio (K) (Tripathi & Raghubanshi 2014; Zörb et al. 2014; Nath & Tuteja 2015). O N é altamente móvel na planta e essencial para o desenvolvimento e produção de material vegetal (Kraiser et al. 2011), por exercer funções específicas como constituinte de proteínas e enzimas e também participar de processos fisiológicos, como: fotossíntese, respiração, diferenciação celular e genética (McAllister et al. 2012; Malik & Rengel 2013). Por sua vez o K desempenha papel fundamental no crescimento e metabolismo da planta (Wang et al. 2013; Zörb et al. 2014), por ser essencial para ativação enzimática, síntese de proteínas, osmoregulação, movimento dos estômatos, fotossíntese e resistência ao estresse (Marschner 2012; Wang et al. 2015).

Desse modo, espécies arbóreas responsivas a N e K, quando cultivadas em condições com adequado suprimento destes nutrientes, de maneira geral apresentam maior crescimento, aumento de área foliar e maior produção de biomassa (Santiago et al. 2012; Viégas et al. 2012), entretanto em condições de deficiência, as plantas podem apresentar retardo do crescimento, menor lançamento de folhas novas, clorose foliar (Lacerda 2002, McAllister et al. 2012), menor turgor foliar, pequena expansão celular, maior potencial osmótico e funcionamento irregular dos estômatos (Wang et al. 2015).

Espécies pioneiras possuem maior demanda por nutrientes, justificada pela taxa de crescimento elevada, e maior capacidade de absorção e acúmulo destes nos tecidos vegetais (Gonçalves et al. 2000). Dentre essas espécies tem se destacado a *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.), popularmente conhecida como louro-freijó (Catie 1997), devido seu potencial silvicultural, rápido crescimento

(Hiremath et al. 2000) e o alto valor comercial de sua madeira (Almeida et al. 2010). A espécie tem mostrado respostas positivas ao fornecimento de macronutrientes (Hiremath et al. 2000, Hummel 2001), entretanto, não foram avaliadas suas curvas de resposta ao fornecimento desses nutrientes.

Considerando a escassez de informações sobre a maioria das espécies florestais nativas (Maranho et al. 2013), estudos que visem elucidar a real exigência nutricional dessas espécies, para o estabelecimento da adubação adequada nas diferentes fases de crescimento, são uma das etapas mais importantes dentro da silvicultura das espécies florestais (Caione et al. 2012, Ciriello et al. 2014). Dessa forma, objetivamos avaliar se há influência de níveis de nitrogênio e potássio no estado nutricional e no crescimento inicial de louro-freijó.

MATERIAL E METODOS

Material planta e condições de crescimento

Foi utilizado louro-freijó (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken), espécie pioneira de rápido crescimento (Catie 1994), amplamente empregada na composição de consórcios agroflorestais na América tropical (Carvalho 2007) e de alto valor comercial madeireiro (Almeida et al. 2010), devido as propriedades físicas de sua madeira, comparáveis ao mogno (*Swietenia macrophylla*), teca (*Tectona grandis*) e nogueira (*Juglans regia*) (Hummel 2001).

O louro-freijó é originário da região central da Amazônia (Catie 1994), onde predominam Latossolos e Argissolos Distróficos profundos, bem drenados, fortemente ácidos (pH em torno de 4,4) (Alling et al. 2014), com alta concentração de alumínio trocável (Al^{3+}) ($\geq 1,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), alto conteúdo de matéria orgânica ($\geq 3,53 \text{ g kg}^{-1}$) (Catie 1997, Conseforh 1998) e clima classificado como Am, segundo a classificação de Köppen (1948).

Entretanto a espécie tem mostrado resposta positivas em crescimento e acúmulo de biomassa ao fornecimento de macronutrientes (Hiremath 2000, Hummel 2001), com tudo, existem poucos relatados na literatura (Rodríguez & Beltrán 2012, Maranho et al. 2013) quanto à exigência nutricional do louro-freijó.

Mudas de *C. alliodora* foram obtidas mediante germinação de sementes, esterilizadas em hipoclorito de sódio (1%), em vermiculita, esterilizadas em

hipoclorito de sódio (0,3%). Foi utilizado como recipientes bandejas plásticas com 60 cm x 40 cm x 10 cm (comprimento, largura x altura, respectivamente) sendo o crescimento das plântulas ocorrido em condições de viveiro telado. Mudanças uniformes (5 a 8 folhas) e caule não bifurcado foram repicadas para vasos de polietileno com as seguintes dimensões: 32,5; 41 e 62,5 cm de altura, largura inferior e largura superior, respectivamente (7 dm^3), utilizando como substrato, um Latossolo coletado na camada 20 - 40 cm. Em seguida as mudas foram cultivadas sob condições de casa de vegetação, sob as seguintes coordenadas geográficas: $03^\circ 06' 01.94'' \text{ LS}$ e $59^\circ 58' 34.59'' \text{ LW}$, na Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM.

Sob as seguintes condições climáticas parcialmente controladas: densidade de fluxo de fóton fotossintético (DFFF) entre $517.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, fotoperíodo de 06:00 - 18:00 h, com temperatura média de $35,4^\circ \text{C}$ e umidade relativa do ar média de 49,8%.

Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos concomitantemente, instalados em delineamento de blocos inteiramente casualizados com seis tratamentos e cinco repetições, e uma planta por unidade experimental, totalizando 30 plantas em cada estudo.

Testar se o crescimento da espécie é afetado pelo nitrogênio: Mudanças de *Cordia alliodora* foram submetidas as seguintes condições: 1) plantas sem receber nitrogênio (0 mg dm^{-3}); 2) plantas recebendo nitrogênio (25 mg dm^{-3}); 3) plantas recebendo nitrogênio (50 mg dm^{-3}); 4) plantas recebendo nitrogênio (75 mg dm^{-3}); 5) plantas recebendo nitrogênio (150 mg dm^{-3}) e 6) plantas recebendo nitrogênio (300 mg dm^{-3}) nas condições padronizadas do estudo. Os níveis de N selecionadas para compor os tratamentos foram baseados em teores adaptados de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980), foi mantido o crescimento das plantas nas seis condições por 120 dias, nesse período foi avaliada o grau de variação nos parâmetros morfológicos e fisiológicos de cada planta.

Testar se o crescimento da espécie é afetado pelo potássio: Mudanças de *Cordia alliodora* foram submetidas as seguintes condições: 1) plantas sem receber potássio (0 mg dm^{-3}); 2) plantas recebendo potássio (25 mg dm^{-3}); 3) plantas recebendo potássio (50 mg dm^{-3}); 4) plantas recebendo potássio (75 mg dm^{-3}); 5) plantas recebendo potássio (150 mg dm^{-3}) e 6) plantas recebendo potássio (300 mg dm^{-3}) nas condições padronizadas do estudo.

dm^{-3}); 5) plantas recebendo potássio (150 mg dm^{-3}) e 6) plantas recebendo potássio (300 mg dm^{-3}) nas condições padronizadas do estudo. Os níveis de K selecionadas para compor os tratamentos foram baseados em teores adaptados de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980), foi mantido o crescimento das plantas por 120 dias, nesse período foi avaliada o grau de variação nos parâmetros morfológicos e fisiológicos de cada planta.

Em ambos os experimentos, a cada dois dias foi realizado o rodízio aleatório dos vasos para que todas as unidades experimentais tivessem as mesmas condições ambientais de crescimento.

Procedimentos específicos

Caracterização dos solos: O LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura muito argilosa (Embrapa 2006), utilizando no estudo, apresentou as seguintes características químicas e granulométricas: pH em água (Schofield & Taylor 1955) = 4,1; nitrogênio = $0,81 \text{ mg dm}^{-3}$; P (resina) = $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$; P-remanescente (Alvarez & Fonseca 1990) = $26,6 \text{ mg L}^{-1}$; potássio (Mehlich 1953) = $9,1 \text{ mg dm}^{-3}$; cálcio = $0,1 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e magnésio = $0,1 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ extraído por solução de NH_4Cl 1M (Shuman & Duncan 1990); enxofre (Fox et al. 1987) = $6,7 \text{ mg dm}^{-3}$; alumínio (McLean et al. 1958) = $1,3 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; acidez potencial (H + Al) (Shoemaker et al. 1961) = $6,5 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; capacidade de troca catiônica efetiva = $1,5 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; capacidade de troca catiônica potencial = $6,5 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; saturação por base (V) = 3,7%; saturação por alumínio (m) = 84,3%; boro (Hatcher&Wilcox1950) = $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$; manganês = $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$; zinco = $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$, cobre = $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ (Lindsay & Norvell 1978); ferro = $103,2 \text{ mg dm}^{-3}$; matéria orgânica do solo (Walkley & Black 1934) = $1,4 \text{ dag kg}^{-1}$; e 740 dag kg^{-1} de argila (Bouyoucos 1927).

Correção e adubação do solo: O solo foi corrigido com uma mistura de $\text{CaCO}_3 + 4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (p.a.) na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, adotando-se o critério de aumentar a V a 80%. Após a homogeneização completa, os solos foram umedecidos com água e incubados por 30 dias.

Ao término da incubação do calcário e concomitantemente a aplicação dos tratamentos, realizar-se-á, em todas as unidades experimentais, uma adubação básica, adaptada de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980), com 200 mg de N; 500 mg de P; 200 mg de K; 40 mg de S; 0,5 mg de B; 1,5 mg de Cu;

0,15 mg de Mn; 0,15 mg de Mo e 5,0 mg de Zn por dm^{-3} . Estes níveis foram balanceados entre os tratamentos, para que somente as doses dos elementos testados variassem, em seguida o solo adubado foi umedecido e incubado por 25 dias.

Essa adubação foi realizada na forma de solução utilizando NH_4NO_3 ; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_3)_2$; K_2SO_4 ; H_3BO_3 ; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; MnSO_4 ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ como fontes puro para análise (p.a).

Fontes de sais utilizadas nos tratamentos: Foi utilizada como fonte de N a uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) (45% de N) no experimento que testava se o crescimento da espécie é afetado pelo nitrogênio e sulfato de potássio (K_2SO_4) (50% de K_2O) como fonte de K no experimento que testava se o crescimento da espécie é afetado pelo potássio.

Irrigação: Durante as fases de incubação e condução do experimento, a umidade no solo foi mantida em torno de 60 % do volume total de poros, por meio de pesagem diária dos vasos e adição de água deionizada.

Avaliação do experimento

Avaliação do estado nutricional das plantas: Os sintomas de deficiência nutricional foram caracterizados e descritos durante a condução dos experimentos, sendo fotografados (Nikon - D750) 120 DAT. Complementarmente a MSPA foi moída em moinho tipo Willey e analisadas quimicamente quanto aos elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Sendo o preparo do extrato e determinação analítica dos nutrientes realizados conforme Malavolta et al. (1997). Com base nos teores de nutrientes e na produção de MSPA foi calculado o conteúdo de nutrientes na parte aérea das plantas.

Fotossíntese líquida e índice relativo de clorofila SPAD (Índice SPAD): 120 dias após o transplântio (DAT) a fotossíntese líquida (A) foi medida entre 07:00 e 11:00 h em folhas jovens completamente expandidas utilizando analisador de gás a infravermelho (IRGA - LICOR 6400), conforme metodologia descrita por Santos Júnior et al. (2006), com dados pontuais obtidos à densidade de fluxo de fótons (PPFD) de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a câmara foliar ajustada para concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 4 \mu\text{mol}$

mol^{-1} , $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. O índice relativo de clorofila SPAD (ICR SPAD), foi medido aos 120 ATP nas mesmas folhas que foram avaliadas a A, através de um medidor portátil de clorofila (SPAD-502 - Minolta) seguindo metodologia descrita por Freiburger et al. (2013).

Crescimento da planta: Foram medidos a altura da parte aérea (ALT), mensurada desde a base do coleto até a gema apical da planta, com o auxílio de uma régua graduada e o diâmetro do coleto (DC), utilizando um paquímetro digital (Mitutoyo - 500). Em seguida as plantas foram colhidas, separando-as em parte aérea (folhas + ramos + caule) e raízes. As diferentes partes foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 70°C até atingirem massa constante. Após a secagem foi determinada a massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), utilizando-se balança do tipo Mark 500 (Tecnal) com precisão de 0,001g.

Análise dos resultados

Os dados deste estudo foram testados quanto a normalidade pelo método de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$) e posteriormente submetidos à análise de variância. Quando o F foi significativo ($P < 0,1$), utilizou-se o teste de Tukey para comparar o efeito de blocos. As variáveis dependentes: acúmulo de nutrientes, taxas de fotossíntese líquida, índice SPAD, ALT, DC, MSPA e MSR foram ajustadas a modelos matemáticos de regressão polinomial de primeiro e segundo grau *versus* as variáveis independentes N e K, para comparar o efeito dos diferentes níveis de N e K. Sendo critério para escolha dos modelos de regressão, foi o maior coeficiente de regressão.

A partir das equações obtidas foram estimadas as doses de N e K, correspondentes à máxima eficiência econômica (MEE), que neste estudo foi considerado como 90% da máxima eficiência física (MEF).

RESULTADOS

Conteúdo de nutrientes

O conteúdo dos elementos aumentou significativamente ($P < 0,05$) com o fornecimento de nitrogênio no solo (Figura 1), com exceção os conteúdos de P

e Ca que não foram afetados significativamente ($P < 0,05$) pelas diferentes doses de N (Figura 1c, d). Exceto o conteúdo de ferro (Figura 1d), que aumentou linearmente com o aumento da concentração de N no solo, o acúmulo dos demais nutrientes ajustaram-se a um modelo de regressão quadrática (Figura 1a, b, c, e, f), sendo os valores referentes a 90% do conteúdo na parte aérea de N, K, Mg, Mn e Zn correspondentes a 0,33; 0,33; 0,18; 1,66; e 0,83 mg planta⁻¹, sendo obtidos com as doses equivalentes a máxima eficiência econômica de 179,79; 110,54; 114,36; 124,18 e 98,64 mg de N dm⁻³ respectivamente.

Em relação a concentração de N nas plantas, foram observados teores de 11,45; 13,19, 13,75, 16,86, 22,04 e 24,18 mg de N kg⁻¹ em função dos níveis de N no substrato (0; 25; 50; 75; 150 e 300 mg dm⁻³), respectivamente.

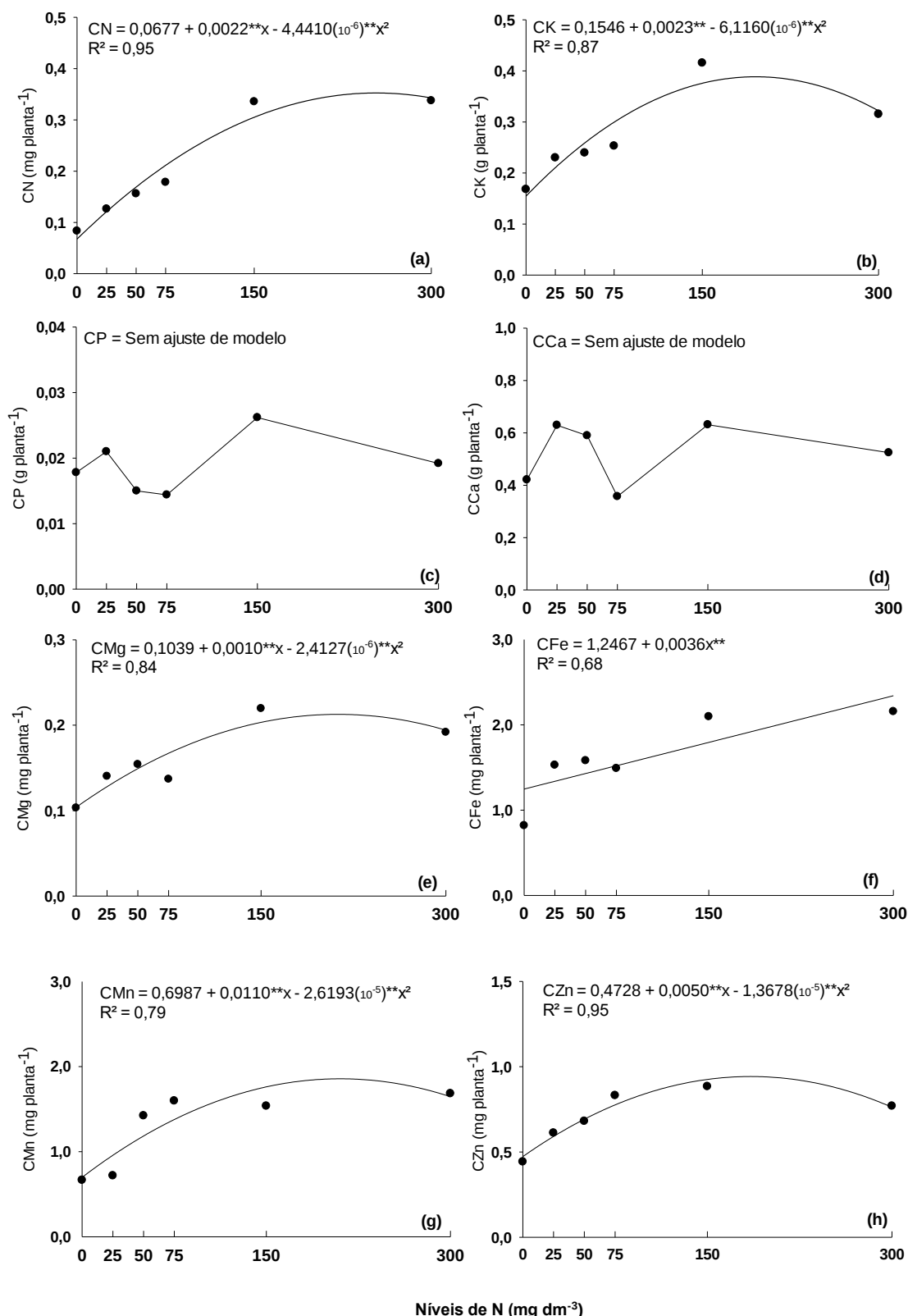


Figura 1 Conteúdo foliar de nitrogênio (CN) (a), potássio (CK) (b), fósforo (CP) (c), cálcio (CCa) (d), magnésio (CMg) (e), ferro (CFe) (f), manganês (CMn) (g) e zinco (CZn) (h) em função de doses de nitrogênio em plantas de *Cordia alliodora* após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. ** $P < 0,01$.

Apenas o conteúdo de K e P foram influenciados significativamente ($P < 0,01$) pelos diferentes níveis de K no substrato. O acúmulo de K aumentou

linearmente com o aumento da concentração deste no solo (Figura 2b), por outro lado, houve uma redução quadrática do acúmulo de P com o aumento da concentração de K (Figura 2c), havendo uma redução linear até dose de 150 mg dm⁻³ de K e uma ligeira tendência de aumento do conteúdo de P na última dose. No caso dos demais nutrientes analisados (N, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn), não houve efeito da concentração de K no acúmulo dos mesmos, dado a ausência de ajuste ($P < 0,05$) de modelo matemático (Figura 2a, d, e, f, g, h).

Similar ao comportamento crescente do acúmulo de K na parte aérea do louro-freijó, foram observados os teores de K em mg kg⁻¹ de matéria seca, em torno de 3,93, 4,47, 1,50, 9,09, 22,32 e 23,11 mg kg⁻¹ em plantas cultivadas nos níveis 0, 25, 50, 75, 150 e 300 mg de K dm⁻³ respectivamente.

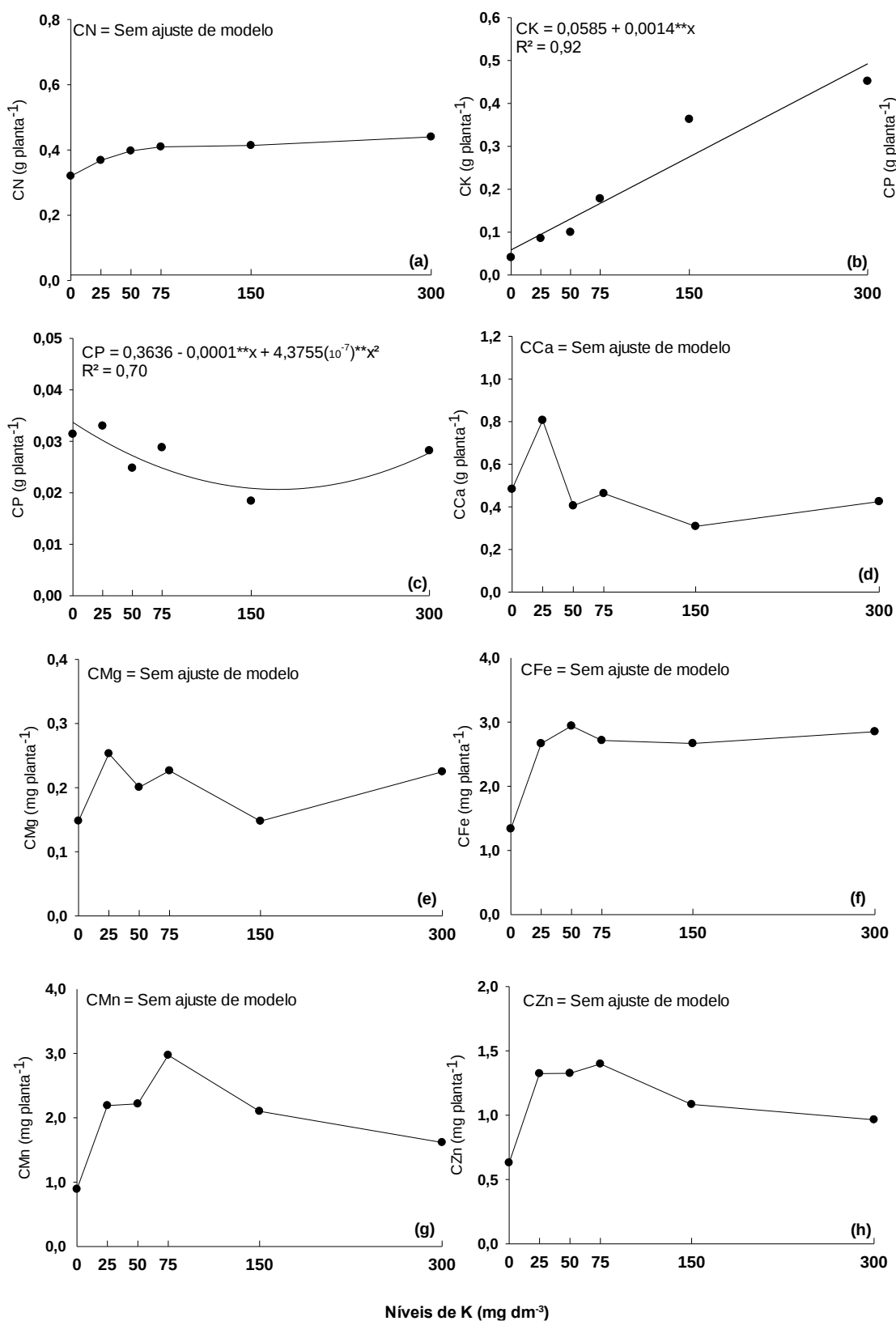


Figura 2 Conteúdo foliar de nitrogênio (CN) (a), potássio (CK) (b), fósforo (CP) (c), cálcio (CCa) (d), magnésio (CMg) (e), ferro (CFe) (f), manganês (CMn) (g) e zinco (CZn) (h) em função de doses de potássio em plantas de *Cordia alliodora* após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. ** $P < 0,01$.

Sintomatologia visual

Sintomas da deficiência de N foram observados em todos os níveis testados (0 a 300 mg dm⁻³), entretanto em níveis mais baixos (0, 25 e 50 mg dm⁻³) a magnitude dos sintomas de deficiência foram mais expressivos. Havendo clorose generalizada, diminuição da área foliar, retardo no crescimento e menor lançamento de folhas novas, principalmente no tratamento com ausência de nitrogênio (0 mg dm⁻³ de N) (Figura 3). De modo geral os sintomas tornaram-se visíveis a partir de 50 dias após a exposição das plantas ao efeito dos tratamentos. Entretanto plantas em condições de 75, 150 e 300 mg dm⁻³ exibiram sintomas a partir de 110 dias, na forma de uma leve clorose no limbo de folhas velhas, não apresentando retardo do crescimento em altura e diminuição da área foliar quando comparadas com os demais níveis testados (Figura 3).



Figura 3 Sintomas visuais da deficiência de nitrogênio em plantas de *Cordia alliodora* aos 120 dias de idade em função da disponibilidade de diferentes níveis de nitrogênio no substrato de cultivo.

Sintomas de deficiência de K surgiram aos 70 DAT, sendo notado amarelecimento e enrugamento nas folhas em plantas conduzidas sob as condições de 0, 25, 50 e 75 mg de K dm⁻³ (Figura 6). A maior intensidade dos sintomas de deficiência de K foi observado no tratamento onde o fornecimento do mesmo foi omitido (0 mg dm⁻³), por outro lado, plantas cultivadas na presença de 150 mg dm⁻³ de K apresentaram maior crescimento da parte aérea, folhas bem expandidas e uniformemente verde (Figura 6). Em contraste, plantas de

louro-freijó quando exposta a maior dose K, apresentaram clorose semelhante à deficiência de N (Figura 6).



Figura 4 Sintomas visuais da deficiência de potássio em plantas de *C. alliodora* aos 120 dias de idade em função da disponibilidade de diferentes níveis de potássio no substrato de cultivo.

Parâmetros fotossintéticos

A taxa de fotossíntese líquida e o índice SPAD foram significativamente ($P < 0,01$) afetados pelos diferentes níveis de N no substrato. Em geral, a A e o ICR SPAD mostraram um similar padrão de comportamento, sendo o modelo matemático polinomial quadrático, que melhor ajustou os dados (Figura 3), de alta significância nas variáveis (A - $R^2 = 0,92$ e índice SPAD - $R^2 = 0,97$) (Figura 3a, b).

Foi observado por meio das equações, geradas através do ajuste dos dados, que o aumento da A e o ICR SPAD deu-se de maneira eficientemente econômica até as doses 161,50 e 134,80 mg dm^{-3} de N (Figura 3a, b) respectivamente. Considerando os ganhos proporcionados pelo aumento da dose zero até a dose referente a MEE, nota-se que o aumento da concentração de N no substrato proporcionou um ganho de 108,72% em A e em relação ao ICR SPAD promoveu um ganho de 163,39%.

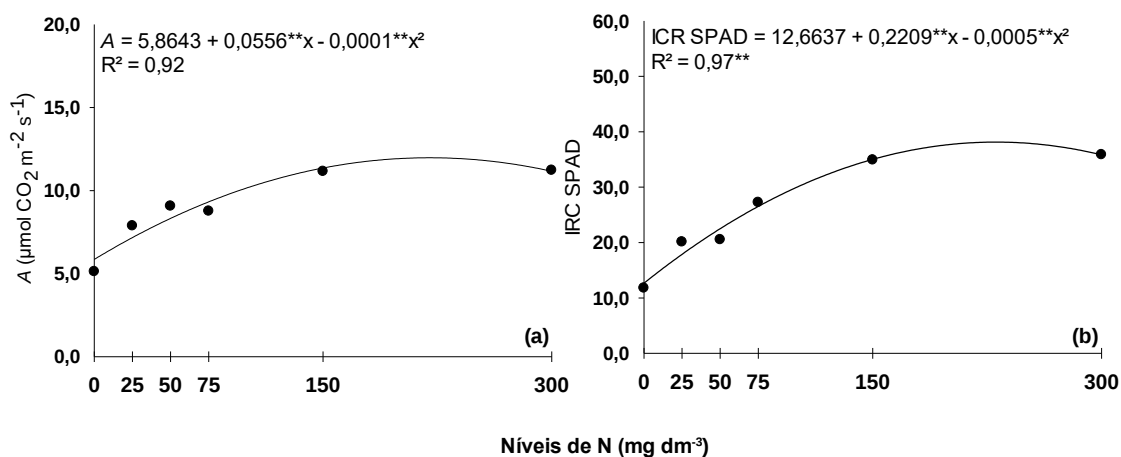


Figura 5 Fotossíntese líquida (A) (a) e Índice relativo de clorofila SPAD (IRC SPAD) (b) em plantas de *C. alliodora* em função de diferentes níveis de nitrogênio, após 120 dias de cultivo em condições semi-controladas. $^{**}P < 0,01$.

Níveis de K no substrato influenciaram significativamente ($P < 0,01$) a A e IRC SPAD. Os dados obtidos mostraram comportamento semelhante, se ajustando melhor ao modelo matemático polinomial quadrático (Figura 7a, b). Por meio do ajuste dos dados, das equações geradas, é possível verificar que as doses referentes a MEE de K para A e IRC SPAD, situaram em torno de 100,89 e 93,62 dm^{-3} de K (Figura 7a, b), respectivamente, valores relativamente inferiores aqueles exigidos observados para o elemento N. Foi observado um aumento de 67,09% e 43,33% da dose referente a MEE comparada a menor dose de K testada (0 mg dm^{-3}), para A e IRC SPAD, respectivamente (Figura 7a, b).

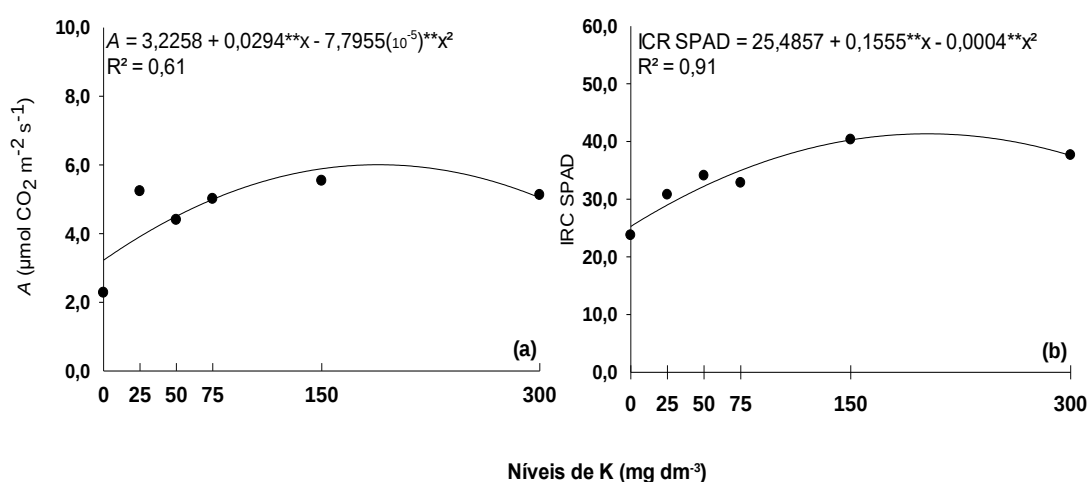


Figura 6 Fotossíntese líquida (A) (a) e Índice relativo de clorofila SPAD (IRC SPAD) (b) em plantas de *C. alliodora* em função de diferentes níveis de potássio, após 120 dias de cultivo em condições semi-controladas. $^{**}P < 0,01$.

Crescimento inicial

As taxas de N testadas não influenciaram significativamente ($P < 0,01$) o crescimento em diâmetro das plantas (Figura 4d), no entanto, MSPA (Figura 4a) e ALT (Figura 4c) mostraram um significativo ($P < 0,01$) aumento, com a exposição as concentrações de N (0 - 300 mg dm⁻³). Por outro lado, houve redução significativa ($P < 0,01$) da produção de MSR (Figura 4b) com o aumento das doses de N. De modo geral, para cada aumento de uma unidade na disponibilidade N no substrato, houve um ganho de 0,057 unidades de MSPA (Figura 4a) e 0,053 unidades em ALT (Figura 4c), porém uma redução de 0,027 unidades de MSR (Figura 4b), havendo um aumento de 43,97 e 16,19% na MSPA e ALT, respectivamente, e um decréscimo de 21,42% para MSR na maior dose de N (300 mg dm⁻³) comparado ao não fornecimento de N (0 mg dm⁻³) (Figura 4a, b, c).

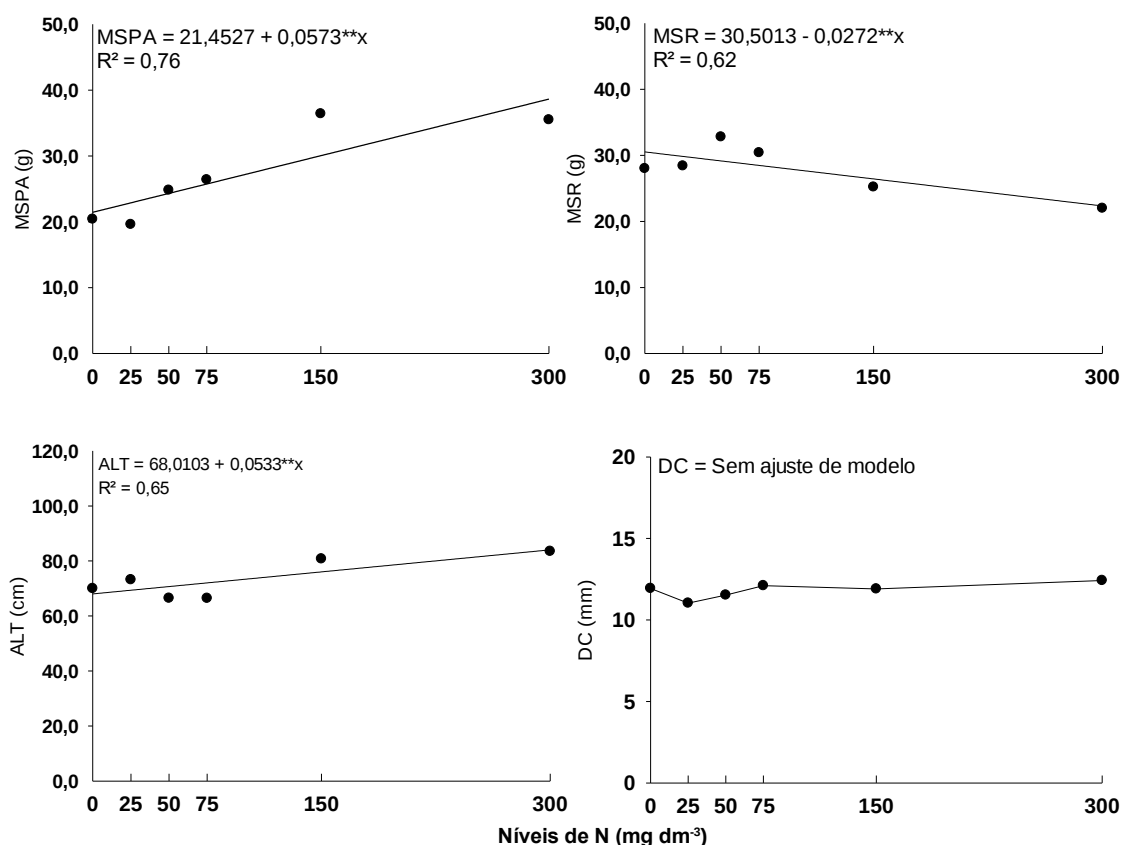


Figura 7 Massa seca da parte aérea (MSPA) (a), massa seca da raiz (MSR) (b), altura da parte aérea (ALT) (c) e diâmetro do coleto (DC) (d) de *C. alliodora* em função de diferentes doses de nitrogênio, após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. * $P < 0,01$.

Exceto ALT, que não sofreu nenhum efeito significativo ($P < 0,01$) do dos diferentes níveis de K (Figura 8c), a MSPA, MSR e DC mostraram uma significativa resposta quadrática com coeficientes de regressão (R^2) de 0,70; 0,81 e 0,80, respectivamente (Figura 8a, b, d). Os ganhos no crescimento foram positivos até as doses de 203,75mg (MSPA); 199,97 mg (MSR) e 189,12mg (DC), a partir dessas doses houve decréscimo dessas variáveis. No entanto as doses referentes a MEE de K situaram em torno de 104,68, 108,07 e 74,03 mg dm^{-3} de K para MSPA; MSR e DC, respectivamente (Figura 8a, b, d). Sendo observados ganhos de biomassa da ordem de 47,67; 46,15 e 6,43% para MSPA, MSR e diâmetro, concomitantemente, na dose de K referente a MEE produção comparado ao não fornecimento do nutriente (0 mg dm^{-3}).

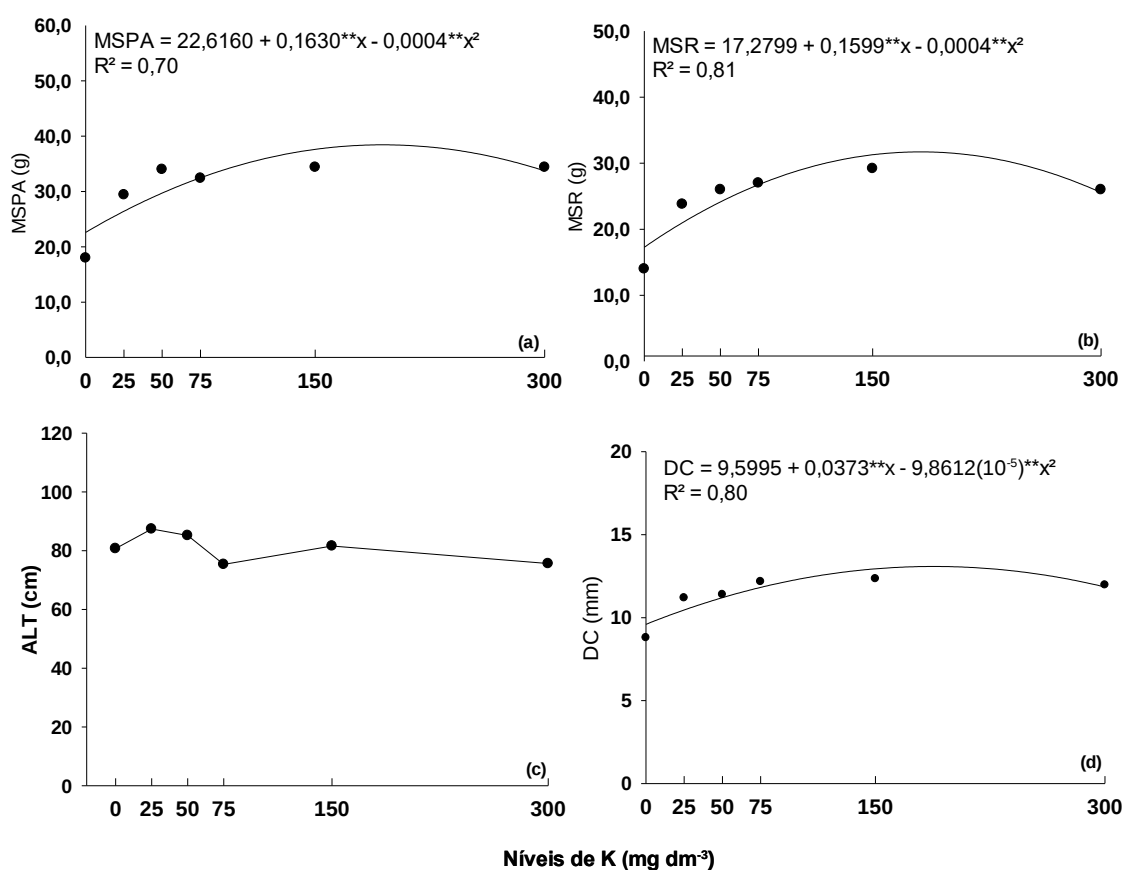


Figura 8 Massa seca da parte aérea (MSPA) (a), massa seca da raiz (MSR) (b), altura da parte aérea (ALT) (c) e diâmetro do coleto (DC) (d) de *C. alliodora* em função de diferentes doses de potássio, após 120 dias de cultivo em ambiente semi-controlado. * $P < 0,01$.

DISCUSSÃO

Conteúdo de nutrientes

O padrão de comportamento do conteúdo dos nutrientes analisados, indica uma dependência da concentração destes em função das doses de N na planta (Uscola et al. 2014). Por outro lado, foi observado que o teor N kg⁻¹ de matéria seca em plantas cultivadas em nos níveis entre 0 – 75 mg dm⁻³ de N no substrato estavam abaixo do nível adequado para a planta (20 - 50 mg N kg⁻¹) segundo Marschner (2012), demonstrando uma alta exigência da espécie por este nutriente.

A ausência de ajuste a modelos matemáticos dos níveis de K com o acúmulo da maioria dos nutrientes analisados e o comportamento quadrático negativo do acúmulo de P, sugerem que, apesar do aumento de K no substrato promover uma maior absorção deste, a maioria do mesmo é estocado constituindo num consumo de luxo (Wang et al. 2015), indicando que o K tem pouca influência no estado nutricional do louro-freijó.

Sintomatologia nutricional

Devido as funções desempenhadas pelo N na planta, como constituinte estrutural fundamental da clorofila e componente necessário para enzimas envolvidas nas reações de assimilação de CO₂ da fotossíntese, principalmente a Rubisco (Hawkesford et al. 2012, Malik & Rengel 2013), na sua ausência ou no caso de um fornecimento abaixo da demanda metabólica da planta, ocorrem modificações visuais e morfológicas, como clorose, menor crescimento, menor área foliar e menor lançamento de folhas (Malik & Rengel 2013). Dessa forma os sintomas mais intensos observados em plantas cultivadas em nos níveis entre 0 – 75 mg dm⁻³ de N, evidenciam uma relação estreita entre a sintomatologia de deficiência apresentada e o conteúdo deste nutriente no tecido foliar (Li & Stewart 2013).

Toda via sintomas da deficiência de N observados para louro-freijó corroboram com aqueles descritos para outras espécies com alta demanda por

este nutriente como mogno (Wallau et al. 2008), cedro australiano (Moretti et al. 2011) e angico-vermelho (Gonçalves et al. 2012).

Em relação ao K, os sintomas de deficiência observados dão-se devido a este nutriente ser essencial para ativação enzimática, síntese de proteínas, osmoregulação, movimento dos estômatos (Marschner 2012; Wang et al. 2013) e à sua alta mobilidade ao nível de membranas plasmáticas (Epstein & Bloom 2006). Sintomas observados em plantas sob baixos níveis de K indicam que os teores encontrados estavam abaixo dos adequados (20 - 50 mg K kg⁻¹) para o ótimo crescimento vegetal (Marschner 2012).

Entretanto, sintomas de deficiência de N manifestados em plantas sob os níveis mais altos de K testados são, justificáveis pela inibição competitiva em nível de membrana pelas maiores taxas de K disponível e o N fornecido na forma de uréia, uma vez que, provavelmente parte do N durante reações deste no substrato, tenha sido transformado em NH₄⁺, ocasionando uma restrição na sua absorção (Uscola et al. 2014).

Com tudo, apesar da falta relatos na literatura dos sintomas de deficiência para a espécie estudada, os sintomas observados para *Cordia alliodora* corroborando com o padrão de sintomatologia de espécies clímax nativas da Amazônia em relação a omissão de K como *Swietenia macrophylla* (Viégas et al. 2012) e *Bombacopsis glabra* (Camacho et al. 2014).

Parâmetros fotossintéticos

Valores de A e IRC SPAD referentes a MEE, dão-se em função do N afetar processos fisiológicos da espécie, onde o N desempenha papel como estrutura da clorofila e componente de enzimas responsáveis pela fixação CO₂ (Malik & Rengel 2013).

Dessa forma, tanto A quanto IRC SPAD correlacionaram-se de forma positiva com o conteúdo de N em plantas de louro-freijó, uma vez que a partir da dose 150 mg dm⁻³ foram observados altos valores dessas variáveis, ressaltando a relação entre o conteúdo de N e a fixação de CO₂ juntamente com o teor de clorofila (Hermans et al. 2006). Aumento nas taxas fotossintéticas foram observados por Hiremath (2000) em estudo com espécies pioneiras e secundárias de rápido crescimento (*Hyeronima alchorneoide*, *Cedrela odorata* L. e *Cordia alliodora*).

Por sua vez o comportamento das variáveis *A* e IRC SPAD em função do *K* pode ser explicado pela participação desse nutriente no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, processo dependente do fluxo de *K* na planta, que quando em baixas concentrações ocasiona menor assimilação de CO₂ nos cloroplastos (Wang et al. 2015), menor taxa fotossintética (Taiz & Zeiger 2013), e retardo na translocação dos carboidratos e no metabolismo do nitrogênio (Wang et al. 2015).

Por tanto, os teores de *K* mg kg⁻¹ de matéria seca verificados na dose de 150 mg dm⁻³ influenciam de forma positiva a assimilação de CO₂ nos cloroplastos e a taxa fotossintética (Taiz & Zeiger 2013, Wang et al. 2015). Efeito positivo verificado por Jin et al. (2011) estudando espécie tropical de rápido crescimento (*Carya cathayensis*) ocorrente em solos com baixos níveis de *K*.

Contudo o decréscimo nas taxas de *A* e IRC SPAD, juntamente com a sintomatologia de deficiência observada, são resultado da inibição competitiva em nível de membrana entre a maior dose de *K* testada e o *N* fornecido em forma de uréia, mostrando que o *N* restringe com maior magnitude tanto as taxas de fotossíntese líquida, quanto da produção de proteína, quando comparado ao elemento *K* (Marschner 2012).

Crescimento inicial

Apesar do crescimento linear da espécie com níveis crescentes de *N*, possivelmente parte deste nutriente não seja utilizado de forma eficiente pela planta, uma vez que o acúmulo de *N* planta⁻¹, *A* e IRC SPAD apresentam comportamento quadrático.

O comportamento apresentado pelas variáveis de crescimento analisadas (MSPA, MSR, ALT e DC) em função do aumento dos níveis de *N* no substrato, dão-se devido a participação do *N* em funções específicas da planta e processos fisiológicos que influenciam diretamente o crescimento vegetal (McAllister et al. 2012), juntamente com o fato da maior parte deste nutriente quanto absorvido (50 – 70%) ser direcionada para órgãos da parte aérea (Kraiser et al. 2011) e que, compostos que contém *N* totalizarem em torno de 5 a 30% do peso seco das plantas (McAllister 2012).

A alta exigência de *N* na fase inicial de crescimento de louro-freijó é similar a outras espécies do mesmo grupo sucessional, como *Schizolobium*

amazonicum, que na ausência de N apresentou redução em MSPA (Locatelli 2006).

Os níveis de K referentes a MEE para MSPA, MSR e DC são similares aqueles obtidos para A e ICR SPAD, ressaltando o papel essencial desempenhado por este nutriente para o crescimento e metabolismo da planta (Wang et al. 2013; Wang et al. 2015). Os resultados obtidos para as variáveis de crescimento corroboram com resultados apresentados por Favare (2010) estudando espécie de rápido crescimento (*Tectona grandis*).

Por outro lado o comportamento crescente do CK com o aumento de K no substrato, quando comparado com o resultado de outras variáveis analisadas (A, ICR SPAD, MSPA, MSR e DC), indica um consumo de luxo deste nutriente (Wang et al. 2015), uma vez que parte do K incorporado não é utilizado, indicando baixa exigência desse nutriente pela espécie na sua fase inicial de crescimento.

CONCLUSÕES

Nitrogênio e potássio, afetam de maneira diferenciada, o estado nutricional e crescimento inicial do louro-freijó, sendo as doses de 179,73 mg de N e 108,70 mg de K dm⁻³ mais indicadas para o da espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN SE, TERMAN, GL & CLEMENTS LB. 1976. *Greenhouse techniques for soil-plant-fertilizer research*. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center.
- ALLING V, HALE SE, MARTINSEN V, MULDER J, SMEBYE A, BREEDVELD, GD & CORNELISSEN G. 2014. The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177: 671-680.
- ALMEIDA AND, ANGELO H, SILVA JCGLD & HOEFELICH VA. 2010. Mercado de madeiras tropicais: substituição na demanda de exportação. *Acta Amazônica* 40: 119-126.

- ALVAREZ VVH & FONSECA DB. 1990. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 14: 49-55.
- BOUYOUCOS GJ. 1927. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. *Soil Science* 23: 343-353.
- CAIONE G, LANGE A & SCHONINGER EL. 2012. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. *Scientia Forestalis* 94: 213-221.
- CAMACHO MA, CAMARA AP & ZARDIN AR. 2014. Diagnose visual de deficiência de nutrientes em mudas de *Bombacopsis glabra*. *Revista Cerne* 20: 427-431.
- CATIE, 1997. *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken. *Nota Técnica sobre Manejo de Semillas Forestales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- CATIE. 1994. *Laurel Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- CIRIELLO V, GUERRINI IA & BACKES C. 2014. Doses de nitrogênio no crescimento inicial e nutrição de plantas de guanandi. *Revista Cerne* 20: 653-660.
- CONSEFORH, 1998. *Laurel. Manual de extensión*. Collaborative Links between Research and Extension Organisations, Comayagua.
- EMBRAPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Empresa Brasileira de Agropecuária, Brasília.
- EPSTEIN E & BLOOM AJ. 2006. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta. 403p.
- FAVARE LG. 2010. *Doses crescentes de nitrogênio, fósforo, potássio e diferentes níveis de saturação por bases em relação ao desenvolvimento e nutrição*

mineral de Teca (Tectona grandis L.f.), sob condições de vaso. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista; Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

FOX RL, HUE NV & PARRA AJ. 1987. A turbidimetric method for determining phosphate-extractable sulfates in tropical soils. *Communications in Soil Science Plant and Analysis* 18: 343-357.

FREIBERGER MB, GUERRINI IA, GALETTI G, FERNANDES DM & CORRÊA JC. 2013. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. *Revista Árvore* 37: 385-392.

GONÇALVES EO, GOMES HNP, NEVES JCL & GOMES, J. M. 2012. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. *Revista Árvore* 36: 219-228.

GONÇALVES J L M, SANTARELLI E G & MORAES NETO S P. 2000. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. Pp.309-350 In: Gonçalves J L M, Benedetti. (eds). *Nutrição e fertilização florestal*. IPEF, Piracicaba.

HATCHER JT & WILCOX LV. 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. *Analytical Chemistry* 22: 567-569.

HAWKESFORD M, HORST W, KICHEY T, LAMBERS H, SCHJOERRING J, MOLLER TS. & WHITE P. 2012. Functions of Macronutrients. Pp.135-189 In: Marschner P. (eds). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. NewYork.

HERMANS C, HAMMOND JP, WHITE PJ & VERBRUGGEN N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation?. *Trends in plant science* 11: 610-617.

HIREMATH AJ. 2000. Photosynthetic nutrient-use efficiency in three fast-growing tropical trees with differing leaf longevities. *Tree physiology* 20: 937-944.

- HUMMEL S. 2001. *Native species in plantation: Cordia alliodora*. ITTO Tropical Forest.
- JIN SH, HUANG JQ, LI XQ, ZHENG BS, WU JS, WANG ZJ & CHEN M. 2011. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. *Tree physiology* 31: 142-1151.
- KÖPPEN W. 1948. *Climatologia*. Fondo de Cultura Económica, México.
- KRAISER T, GRAS DE, GUTIÉRREZ AG, GONZÁLEZ B & GUTIÉRREZ RA. 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany* 62: 1455–1466.
- LACERDA C F. 2002. *Fisiologia Vegetal*. Departamento de Engenharia Agrícola-UFC, Fortaleza.
- LI SX, WANG ZH & STEWART BA. 2013. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. Pp. 205–398. In: Sparks DL (eds). *Advances in agronomy*. Waltham, Elsevier Academic Press.
- LINDSAY WL, NORVELL, WA. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421–428,
- LOCATELLI M. 2006. *Caracterização de sintomas de deficiências em cedro rosa (Cedrela odorata L.)* Empresa Brasileira de Agropecuária. Porto Velho.
- MALAVOLTA E, VITTI GC & OLIVEIRA SA. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. POTAFOS, Piracicaba.
- MALAVOLTA E. 1980. *Elementos da nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres, São Paulo.
- MALIK AI & RENGEL Z. 2013. *Physiology of Nitrogen-Use Efficiency. Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems*. John Wiley & Sons, Inc.

- MARANHO ÁS, PAIVA AV, PAULA SRP. 2013. Crescimento inicial de espécies nativas com potencial madeireiro na Amazônia, Brasil. *Revista Árvore* 37:913-921.
- MARSCHNER H. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic, San Diego.
- McALLISTER CH, BEATTY PH & GOOD AG. 2012. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. *Plant Biotechnology Journal* 10: 1011–1025.
- McLEAN EO, HEDDLESON MR, BARTLETT RJ & HOLOWAYCHUK N. 1958. Aluminum in soils: I. Extraction methods and magnitude in clays and Ohio soils. *Soil Science Society of America Journal* 22:382-387.
- MEHLICH A. 1953. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories*. University of North Carolina, Raleigh.
- MOREIRA A & FAGERIA N K. 2009. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 2912–2925.
- MORETTI BS, NETO AEF, DO CARMO PINTO SI, FURTINI IV & DE SOUZA MAGALHÃES CA. 2011. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Revista Cerne* 17: 453-463.
- NASCIMENTO H H C, PACHECO C M, DE LIMA D R M, DA SILVA E C & NOGUEIRA R J M C. 2014. Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. *Scientia Forestalis* 103: 315-328.
- NATH M & TUTEJA N. 2015. NPKS uptake, sensing, and signaling and miRNAs in plant nutrient stress. *Protoplasma* 1-20.
- QUESADA CA, LLOYD J, ANDERSON LO, FYLLAS NM, SCHWARZ M & CZIMCZIK CI. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences* 8.

- RODRÍGUEZ L & BELTRÁN VA. 2012. Influencia del sustrato y del hongo de micorriza sobre la arquitectura de raíz y vástago de nogal cafetero (*Cordia alliodora* [Ruiz et Pav.] Oken). *Agronomía Colombiana* 30: 59-70.
- SANTOS JÚNIOR UM, GONÇALVES JFC & FELDPAUSCH TR. 2006. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded áreas in Central Amazonia. *Forest Ecology and Management* 226: 299-309.
- SCHOFIELD RK & TAYLOR AW. 1955. The measurement of soil pH. *Soil Science Society of America Proceedings* 19: 164-167.
- SHOEMAKER HE, MCLEAN EO & PRATT PF. 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Science Society of America, Proceedings* 25: 274-277
- SHUMAN LM & DUNCAN RR. 1990. Soil exchangeable cations and aluminum measured by ammonium chloride, potassium chloride, and ammonium measured by ammonium chloride, potassium chloride, and ammonium acetate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21: 1217-1228,
- TAIZ L & ZEIGER E. 2012. *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre.
- TRIPATHI SN & RAGHUBANSHI AS. 2014. Seedling growth of five tropical dry forest tree species in relation to light and nitrogen gradients. *Journal of Plant Ecology* 7: 250–263.
- USCOLA M, OLIET JA, SALVADOR PV, PINÉS ED & JACOBS DF. 2014. Nitrogen form and concentration Interact to affect the performance of two ecological distinct Mediterranean Forest trees. *European Journal Forest Research*, 133: 235-246.
- VIÉGAS IJM, LOBATO AKS, RODRIGUES MFS, CUNHA RLM, FRAZÃO DAC, NETO CFL, CONCEIÇÃO HEO, GUEDES EMS, ALVES GAR, SILVA SP. 2012. Visual symptoms and growth parameters linked to deficiency of

macronutrients in young *Swietenia macrophylla* plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10: 937-940.

WALKLEY A & BLACK IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 9–38.

WALLAU RLR, BORGES AR, ALMEIDA DR & CAMARGOS S L. 2008. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. *Revista Cerne* 14: 304-310.

WANG X, ZHAO X, JIANG C, LI C, CONG S, WU D, CHEN Y, YU H & WANG C. 2015. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Journal of Integrative Agriculture*. 14: 856–863.

WANG Y & WU WH. 2013. Potassium transport and signaling in higher plants. *Annual Review of Plant Biology* 64: 451–476.

ZÖRB C, SENBAYRAM M & PEITER E. 2014. Potassium in agriculture – status and perspectives. *Journal Plant Physiology* 171: 656–69.